

УДК 681.5.015.42

## ПРОГРАММНЫЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Кирильчик А. В.

Научный руководитель — д.т.н, проф., Рубан А. И.

*Сибирский федеральный университет*

*Предложен алгоритм подбора структур параметрических моделей динамических объектов. Приведен пример подбора структуры модели на тестовом примере.*

### Постановка задачи

Имеется динамический объект с набором входов  $u(t)$  и выходом  $x(t)$ , заданный разностным уравнением

$$x(t+1) = f(x(t), \alpha, t), t = \overline{1, n}, x(0) = x_0(\alpha)$$

а модель измерительного устройства

$$y(t) = y(x(t), \alpha, t) + \xi(t),$$

где  $\xi(t)$  — аддитивная центрированная нормально распределенная помеха.

Необходимо на основе имеющихся синхронных измерений времени и выхода объекта

$$\{t, y(t)\}, t = \overline{1, n}$$

построить наиболее оптимальную по структуре статическую параметрическую модель вида

$$\hat{y}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i \phi_i(t)$$

Для оценки качества генерируемых в ходе работы алгоритма параметрических моделей используется непараметрическая модель объекта:

$$\eta(t) = \sum_{i=1}^n K_n\left(\frac{t-i}{h}\right) y_i, K_n\left(\frac{t-i}{h}\right) = \left( \frac{K\left(\frac{t-i}{h}\right)}{\sum_{j=1}^n K\left(\frac{t-j}{h}\right)} \right)$$

где  $K$  — симметричное относительно нуля усеченное ядро,  $h$  — коэффициент размытости. Оптимальная величина  $h$  подбирается минимизацией показателя качества (путем разделения выборки на две части — обучающую и экзаменующую, по обучающей строится непараметрическая оценка, по экзаменующей — показатель качества, либо методом скользящего экзамена).

## Описание алгоритма

Подбираемая в процессе работы алгоритма параметрическая модель строится в виде линейной (относительно параметров модели) комбинации известных базисных функций  $\phi_i(t)$ .

Для оценки качества генерируемой параметрической модели используется коэффициент близости параметрической модели и непараметрической модели:

$$\lambda_{\eta \rightarrow \hat{y}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}(i, a) - \hat{m}_{\hat{y}})^2}{\sum_{i=1}^n (\eta_n(i) - \hat{m}_{\hat{y}})^2}},$$

$$\hat{m}_{\hat{y}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{y}(i, a).$$

Основная идея подбора структуры параметрической модели состоит в следующем: имеется заранее заданный набор базисных функций  $\phi_i(t)$ ,  $t = \overline{1, m}$ , участвующих в построении модели. На первом шаге алгоритма находится наиболее близкая к непараметрической модели параметрическая модель вида  $\hat{y}(t) = a_0 + a_1 \phi_1(t)$ , на следующем шаге к полученной на предыдущем шаге модели добавляется еще одна базисная функция  $\hat{y}(t) = a_0 + a_1 \phi_1(t) + a_2 \phi_2(t)$ , где  $\phi_1(t)$  найдена на предыдущем шаге алгоритма, а  $\phi_2(t)$  подбирается из оставшихся базисных функций. При этом на каждом шаге алгоритма осуществляется подстройка параметров модели  $a$ . Добавление в модель новых базисных функций происходит до тех пор, пока не выполнится одно из следующих условий:

- показатель близости между параметрической и непараметрической моделями перестанет увеличиваться;
- показатель близости между параметрической и непараметрической моделями приблизится к 1 (с заранее заданной точностью);
- параметрическая модель будет включать в себя все базисные функции.

Таким образом можно подобрать структуру модели, которая будет наиболее оптимально описывать объект при данном уровне стохастичности.

## Пример

Для примера рассмотрим подбор структуры параметрической модели для объекта  $x(t+1) = 0.9x(t)$  с аддитивной, нормально распределенной помехой с нулевым математическим ожиданием и дисперсией равной 1. Для подбора структуры модели будут использованы следующие базисные функции:  $\phi_1(t) = t$ ,  $\phi_2(t) = t^2$ ,  $\phi_3(t) = t^3$ ,  $\phi_4(t) = \sin(t)$ ,  $\phi_5(t) = \cos(t)$ ,  $\phi_6(t) = \frac{1}{t}$ . В результате работы алгоритма получилась следующая модель:  $\hat{y}(t) = -0.35 + 0.03 \frac{1}{t}$ . На рисунке ниже предоставлены графики параметрической модели, непараметрической модели, и точки выборки, по которым строилась модель.

Title

